

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 10 月 7 日 (07.10.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/086575 A1

- (51) 国際特許分類: H01S 5/18
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/003987
- (22) 国際出願日: 2004 年 3 月 23 日 (23.03.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-083706 2003 年 3 月 25 日 (25.03.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県
川口市本町四丁目 1 番 8 号 Saitama (JP).

大宿舎 2 3 1 Kyoto (JP). 横山 光 (YOKOYAMA, Mitsuru) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP). 関根 孝二郎 (SEKINE, Koujiro) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP). 宮井 英次 (MIYAI, Eiji) [JP/JP]; 〒6158123 京都府京都市西京区榎原山路 1 6 - 1 ネクストライフ 1 0 1 Kyoto (JP).

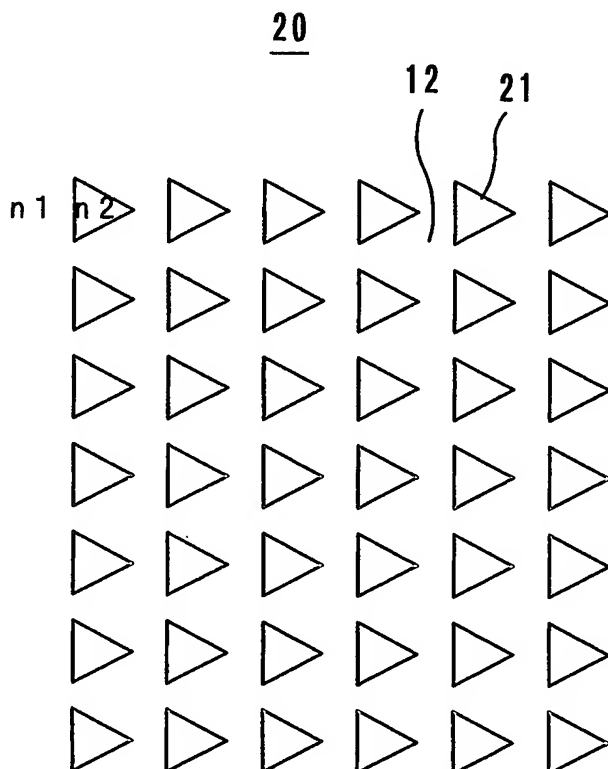
(74) 代理人: 森下 武一 (MORISHITA, Takekazu); 〒5410054 大阪府大阪市中央区南本町 4 丁目 2 番 1 8 号 サンモトビル Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,

[続葉有]

(54) Title: TWO-DIMENSIONAL PHOTONIC CRYSTAL SURFACE-EMITTING LASER

(54) 発明の名称: 2次元フォトリック結晶面発光レーザ



(57) Abstract: A two-dimensional photonic crystal surface-emitting laser in which a photonic crystal periodic structure body (21), comprising an active layer (a first medium) (12) that emits light by carrier injection or a second medium disposed near it and being different in refractive index, is arranged at a two-dimensional period. The lattice structure of a photonic crystal (20) is a tetragonal lattice or an orthogonal lattice, and is provided with translational symmetry but not with rotational symmetry. Or, the lattice structure of a photonic crystal (20) is a tetragonal lattice or an orthogonal lattice, and is either p1, pm, pg or cm according to two-dimensional pattern classification method. Most preferably, the shape of a lattice point is almost triangular.

(57) 要約: キャリアの注入により発光する活性層 (第1媒質) (12) 又はその近傍に、屈折率の異なる第2媒質からなるフォトリック結晶周期構造体 (21) を2次元の周期で配列した2次元フォトリック結晶面発光レーザ。フォトリック結晶 (20) の格子構造は正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない。あるいは、フォトリック結晶 (20) の格子構造は正方格子又は直交格子であり、2次元文様の分類方法で p1、pm、pg 又は cm のいずれかである。最も好ましくは格子点の形状はほぼ三角形である。



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

2次元フォトリック結晶面発光レーザ

技術分野

本発明は、2次元フォトリック結晶面発光レーザ、特に、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリック結晶周期構造体を備え、フォトリック結晶により共振して面発光する2次元フォトリック結晶面発光レーザに関する。

背景技術

従来、基板面から垂直方向にレーザ光を出射する面発光レーザが種々開発、研究されている。面発光レーザは同一基板上に多数の素子を集積（アレイ化）でき、各素子からコヒーレントな光が並列的に出射されるため、並列光ピックアップ、並列光伝送、光並列情報処理の分野での用途が期待されている。

この種の面発光レーザとして、フォトリック結晶を利用した2次元フォトリック結晶面発光レーザが特開2000-332351号公報に開示されている。フォトリック結晶とは、光の波長と同程度もしくはより小さい屈折率周期を有する結晶であり、誘電体の多次元周期構造体では半導体の結晶中で電子状態にバンドギャップが生じることと同様の原理により、光の導波を抑制する波長帯（フォトリックバンドギャップ）が生じ、光を2次元又は3次元に閉じこめることが可能である。

前記特許文献に記載の2次元フォトリック結晶面発光レーザは、

キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、２次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備え、フォトニック結晶により共振して面発光するものである。

具体的には、第２５図に示すように、２次元フォトニック結晶面発光レーザ１０は、概略、基板１１上に下部クラッド層１２、活性層１３、上部クラッド層１４が積層され、下部クラッド層１２には活性層１３の近傍に２次元フォトニック結晶２０が内蔵されている。

基板１１は、例えば、 n 型 InP の半導体材料からなる。下部クラッド層１２及び上部クラッド層１４は、例えば、それぞれ n 型及び p 型 InP の半導体層であり、活性層１３よりも屈折率が低い。２次元フォトニック結晶２０は、下部クラッド層１２に形成した空孔（フォトニック結晶周期構造体２１、格子点とも称する）にて構成され、下部クラッド層１２とは屈折率の異なる媒質が２次元の周期で配列された正方格子や三角格子からなっている。空孔内には SiN 等を充填してもよい。活性層１３は、例えば、 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 系の半導体材料を用いた多重量子井戸構造からなっており、キャリアの注入により発光する。

下部クラッド層１２及び上部クラッド層１４により活性層１３を挟んでダブルヘテロ接合を形成し、キャリアを閉じこめて発光に寄与するキャリアを活性層１３に集中させるようになっている。

基板１１の底面及び上部クラッド層１４の上面には金等からなる下部電極１６及び上部電極１７が形成されている。電極１６，１７間に電圧を印加することにより活性層１３が発光し、該活性層１３から漏れた光が２次元フォトニック結晶２０に入射する。２次元フォトニック結晶２０の格子間隔に波長が一致する光は、２次元フォトニック結晶２０により共振して増幅される。これにより、上部クラッ

ド層 14 の上面（電極 17 の周囲に位置する発光領域 18）からコヒーレントな光が面発光される。

ここで、第 26 図に示すような正方格子からなる 2 次元フォトニック結晶 20 について共振作用を説明する。なお、格子形状は正方格子に限らず、直交格子等であってもよい。

2 次元フォトニック結晶 20 は、第 1 媒質 12 内に空孔等の第 2 媒質 21 と直交する 2 方向に同じ周期で形成した正方格子からなっている。正方格子は Γ -X 方向と Γ -M 方向の代表的な方向を有している。 Γ -X 方向に隣接する第 2 媒質 21 の間隔を a とすると、第 2 媒質 21 を格子点とした一辺が a の正方形からなる基本格子 E が形成されている。

波長 λ が基本格子 E の格子間隔 a に一致する光 L が Γ -X 方向に進行すると、光 L は格子点で回折される。このうち、光 L の進行方向に対して 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° の方向に回折された光のみがブラッグ条件を満たす。さらに、 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° の方向に回折された光の進行方向にも格子点が存在するため、回折光は再度進行方向に対して 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° 方向に回折する。

光 L が 1 回又は複数回の回折を繰り返すと、回折光が元の格子点に戻るため共振作用が生じる。また、第 26 図の紙面に垂直な方向に 1 次回折された光もブラッグ条件を満たす。このため、共振によって増幅された光が上部クラッド層 14 を介して出射され、面発光機能を有することになる。また、全ての格子点でこの現象が生じるため、面内全域でコヒーレントなレーザ発振が可能である。

前記フォトニック結晶を利用した 2 次元的な共振現象を、より定量的に考えるために、2 次元正方格子フォトニック結晶における光の分散関係を第 27 図に示す。第 27 図において、横軸は波数ベク

トルと称する光の波数の向きと大きさを表す。縦軸は光の周波数に a/c を乗じて無次元化した規格化周波数である。ここで、 c は光速（単位：m / s e c）で、 a は格子間隔（単位：m）である。

光のエネルギーの伝播速度である群速度 v_g は、 $\partial \omega / \partial k$ で表されるので、第 27 図においてその傾きが 0 となるバンド端では、光の群速度は 0 となり、定在波が生じることを意味する。従って、様々なバンド端において、それぞれのバンド端に応じた特徴あるレーザ発振が可能となる。なかでも、ポイント S（ Γ 点第 2 群）のバンド端が前記 4 波の結合と、面に垂直な方向に光を取り出せる発振点である。

第 28 図に前記ポイント S の詳細を示す。第 28 図を参照すると、 Γ 点のバンド端には一つの二重縮退をしたバンド端 III、IV を含む四つのバンド端（モード）I、II、III、IV があり、レーザ発振はこの四つのバンド端（モード）のいずれかで生じるものと考えられる。

これら四つのモードのうち、バンド端 III、IV の 2 点は縮退しているため、縮退の性質により電界分布が一義的には決まらず不安定になる。また、縮退していない他の二つのモード I、II は、偏光が特異であり、第 29 図及び第 30 図に示すような特徴を有している。第 29 図はモード I の面発光成分の電界分布を示し、第 30 図はモード II の面発光成分の電界分布を示している。

第 29 図及び第 30 図から明らかなように、モード I、II 共に、偏光方向が場所により異なっているため、偏光が揃っていないことが要求される用途では使用できないという問題点を有している。また、発光面の中心部においては互いに打ち消し合う方向に電界が重なり合うので、結果的に周辺のみが明るく、中心部は暗いドーナツ状の発光をしていることになる。

また、二重縮退したモードIII、IVについては、前述の如く、縮退の性質により電界分布が一定にならないので、このモードIII、IVでも偏光は一義的に決まらず不安定になる。そこで、本発明者らは、偏光方向をある特定の方向に揃えることを検討し、2次元フォトニック結晶を構成する格子点の形状を適切に設計することにより、偏光が一方向に揃えることが可能であることを見出した（特開2003-23193号公報参照）。

その一例として、格子点の形状が楕円形状をなす場合の発振点付近のバンド構造を第31図に示し、その電界分布を第32A図、第32B図～第35A図、第35B図に示す。

第31図に示すバンド構造により、格子点形状が真円形状のとき縮退していたモードIII、IVは完全に縮退が解けて新たなモードIII'、IV'になっていることが分かる。なお、格子点形状の楕円化により得られたモードをエネルギーの低いほうから、モードI'、II'、III'、IV'と名付け、真円の場合のモードと区別することにする。

また、格子点形状の楕円化による効果で非常に重要な点として、縮退の解けたモードIII'及びモードIV'は勿論のこと、モードI'及びモードII'においても偏光方向が一方向に揃っていることが電界分布を示す第32A図、第32B図～第35A図、第35B図から明らかである。

ところで、モードIII'、IV'は偏光方向に加えて位相も発光面の全ての場所で揃っている。これに対し、モードI'、II'は偏光方向は揃っているが、中心部を挟んで上下（モードI'）もしくは左右（モードII'）で位相が180°反転しているため、発光面の中心部では互いに電界が打ち消しあって暗くなる双峰性の発振をするという問題点が見られた。

さらに、フォトリック結晶の共振器としての性質により、モードI'、II'のほうがモードIII'、IV'よりもQ値が高く、モードIII'、IV'を発振モードとして選択すると、モードI'、II'を発振モードとして選択した場合に比べると、閾値が高くなるという問題点も見られた。即ち、使いやすい単峰性の直線偏光と、低閾値化（Q値が高い）の両立が困難である。

発明の開示

そこで、本発明の目的は、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、Q値の高い2次元フォトリック結晶面発光レーザを提供することにある。

以上の目的を達成するため、第1の発明は、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトリック結晶の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていないフォトリック結晶を内蔵していることを特徴とする。

第2の発明は、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトリック結晶の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、2次元文様のIUC（International Union of Crystallography in 1952）の分類方法でp1、pm、pg又はcmのいずれかであるフォトリック結晶を内蔵していることを特徴とする。

前記第 1 及び第 2 の発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいては、フォトニック結晶の格子構造を並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない構造とすることにより、換言すれば、前記分類方法で $p1$ 、 pm 、 pg 又は cm のいずれかとすることにより、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、 Q 値を高く（閾値を低く）することができる。

第 1 及び第 2 の発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、フォトニック結晶の格子点の形状はほぼ三角形であることが好ましい。また、フォトニック結晶の格子点の形状は、比較的大きなほぼ円形状と比較的小さなほぼ円形状の組み合わせで構成してもよい。あるいは、フォトニック結晶の格子点が屈折率の異なる 2 種類以上の媒質若しくは屈折率分布を持つ媒質によって構成されていてもよい。

図面の簡単な説明

第 1 図は本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの結晶面構造の一例（格子点が三角形状）を示す平面図、

第 2 図は第 1 図に示すフォトニック結晶の面発光成分（モード I”）の電界分布を示すチャート図、

第 3 図は第 1 図に示すフォトニック結晶の面発光成分（モード II”）の電界分布を示すチャート図、

第 4 図は第 1 図に示すフォトニック結晶の面発光成分（モード III”）の電界分布を示すチャート図、

第 5 図は第 1 図に示すフォトニック結晶の面発光成分（モード IV”）の電界分布を示すチャート図、

第 6 A 図、第 6 B 図、第 6 C 図は格子点を真円形状とした場合の

モードIにおける電界分布を示すチャート図、

第7A図、第7B図、第7C図は格子点を楕円形状とした場合のモードI'における電界分布を示すチャート図、

第8A図、第8B図、第8C図は格子点を三角形形状とした場合のモードI''における電界分布を示すチャート図、

第9A図は格子点を真円形状とした場合のモードIに関してフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図、第9B図は同モードIに関して面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第10A図は格子点を三角形形状とした場合のモードI''に関してフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図、第10B図は同モードI''に関して面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第11A図、第11B図、第11C図は格子点を真円形状とした場合のモードIIにおける電界分布を示すチャート図、

第12A図、第12B図、第12C図は格子点を楕円形状とした場合のモードII'における電界分布を示すチャート図、

第13A図、第13B図、第13C図は格子点を三角形形状とした場合のモードII''における電界分布を示すチャート図、

第14A図は鏡映を示す説明図、第14B図はすべり鏡映を示す説明図、

第15図は格子点形状とその配列の他の例を示す平面図、

第16図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第17図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第18図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第19図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第20図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第21図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、

第 2 2 図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、
第 2 3 図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、
第 2 4 図は格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図、
第 2 5 図は本発明に先行する 2 次元フォトリック結晶面発光レーザを示す斜視図、

第 2 6 図は 2 次元フォトリック結晶面発光レーザの共振作用を示す説明図、

第 2 7 図は格子点が真円形状である 2 次元正方格子フォトリック結晶における光の分散関係を示すバンド図、

第 2 8 図は第 2 7 図のポイント S の詳細を示すバンド図、

第 2 9 図は格子点が真円形状であるモード I の面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第 3 0 図は格子点が真円形状であるモード II の面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第 3 1 図は格子点を楕円形状とした 2 次元正方格子フォトリック結晶における光の分散関係を示すバンド図、

第 3 2 A 図は格子点を楕円形状としたモード I' に関して面発光成分の電界分布を示すチャート図、第 3 2 B 図は同モード I' に関してフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図、

第 3 3 図は格子点を楕円形状としたモード II' の面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第 3 4 図は格子点を楕円形状としたモード III' の面発光成分の電界分布を示すチャート図、

第 3 5 A 図は格子点を楕円形状としたモード IV' に関して面発光成分の電界分布を示すチャート図、第 3 5 B 図は同モード IV' に関してフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明に係る２次元フォトニック結晶面発光レーザの実施形態について、添付図面を参照して説明する。

（格子点が三角形状の場合）

本発明に係る２次元フォトニック結晶面発光レーザは、第１図にその平面構造を示すように、屈折率 n_1 の第１媒質（下部クラッド層）１２に屈折率 n_2 （但し、 $n_1 \neq n_2$ ）の第２媒質（フォトニック結晶周期構造体、格子点とも記す）２１を正方格子状に配置した２次元フォトニック結晶２０からなる。この基本的な構造は第２５図に示した従来の面発光レーザと同様であり、第２６図に示した原理により面発光する。

第１図に示す２次元フォトニック結晶２０はそのフォトニック周期構造体２１の形状を三角形として正方格子を構成したもので、並進対称性を備えるが回転対称性を備えてはいない。

第２図～第５図に、フォトニック結晶周期構造体２１を三角形状とすることにより得られる面発光成分の電界分布を示す。この２次元フォトニック結晶２０にあっても四つのモードが存在し、それぞれモードⅠ”、Ⅱ”、Ⅲ”、Ⅳ”と名付ける。第２図～第５図から明らかのように、全てのモードで単峰性の直線偏光発振が得られていることが分かる。

モードⅠ”、Ⅱ”、Ⅲ”、Ⅳ”は、それぞれ格子点形状が楕円形状である場合のモードⅠ’、Ⅱ’、Ⅲ’、Ⅳ’（第３２Ａ図、第３２Ｂ図～第３５Ａ図、第３５Ｂ図参照）と同類のモードであるため、モードⅠ”、Ⅱ”はモードⅢ”、Ⅳ”に比べて共振器としてのＱ値が高く、閾値が低くなる利点を有している。即ち、モードⅠ”、Ⅱ”において低閾値と単峰

性が両立できている。従って、格子点が三角形形状の2次元フォトニック結晶20ではモードI''又はモードII''を発振モードとして使用することになる。

前述の現象は以下のように理解される。2次元フォトニック結晶は、発光面に対して垂直方向に光を取り出すタイプのレーザであり、取り出される光の偏光はフォトニック結晶を構成している周期的な屈折率分布のうち、屈折率の低い部分に分布している電界の方向で決定される。格子点形状が楕円の場合、例えば、モードI'の場合、第32B図に示したフォトニック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を挟んで、その上下に、右方向に進む電界と、左方向に進む電界が存在するために、この光が回折により、フォトニック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は第32A図に示したように中心を挟んで上下で位相が異なる電界分布を有している。

一方、例えば、モードIV'の場合、第35B図に示したフォトニック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を一方向に貫くように分布しているために、この光が回折により、フォトニック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は第35A図に示したように一方向に揃っている。

従って、直線偏光を持った単峰性の電界分布を備えた放射モードを得るには、2次元フォトニック結晶の面内で屈折率の低い第2媒質に、方向の揃った電界を分布させればよいことになる。

そこで、第6A図、第6B図、第6C図～第8A図、第8B図、第8C図に格子点を真円形状、楕円形状及び三角形形状とした場合のモードI、I'、I''における電界分布の様子を模式的に示す。第6A図、第7A図、第8A図はフォトニック結晶内部での電界分布を示し、

第 6 B 図、第 7 B 図、第 8 B 図は屈折率の低い第 2 媒質（2 次元フォトニック周期結晶構造体）において 1 周期分取り出した場合の電界分布を示す。また、第 6 C 図、第 7 C 図、第 8 C 図は発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布を示す。第 9 A 図、第 9 B 図、第 10 A 図、第 10 B 図にはさらに詳細な電界分布を示し、第 9 A 図、第 9 B 図は格子点が真円形状の場合、第 10 A 図、第 10 B 図は格子点が三角形形状の場合をそれぞれ示す。

ところで、格子点を三角形形状とした場合、発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布は、第 8 A 図、第 8 B 図、第 8 C 図に示すように、厳密には、屈折率の低い第 2 媒質部分に分布する電界を 180° 回転させた像になる。

第 11 A 図、第 11 B 図、第 11 C 図～第 13 A 図、第 13 B 図、第 13 C 図に、前記第 6 A 図、第 6 B 図、第 6 C 図～第 8 A 図、第 8 B 図、第 8 C 図と同様に、格子点を真円形状、楕円形状及び三角形形状とした場合のモード II、II'、II'' における電界分布の様子を模式的に示す。

（格子点形状の条件及び種類）

第 8 A 図、第 8 B 図、第 8 C 図、第 13 A 図、第 13 B 図、第 13 C 図に明らかなように、格子点を三角形形状とした本質的な特徴は、屈折率の周期と電界分布の周期をずらすことにある。このような現象は格子点が三角形形状である場合だけではなく、2 次元フォトニック結晶を構成している格子構造が下記の条件を満たすことによって得られる。

即ち、格子構造が、回転対称性を含まない正方格子構造又は直交格子構造であればよい。一般に、2 次元の繰り返し文様は、IUC (International Union of Crystallography in 1952) の分類

方法で 17 種に分類できることが知られている。17 種とは、p 1、p m、p g、c m、p 2、p m m、p g g、c m m、p m g、p 4、p 4 m、p 4 g、p 3、p 3 1 m、p 3 m 1、p 6、p 6 m である。そのうち、回転対称性を含まない文様は、以下の表 1 に示すように、p 1、p m、p g、c m の 4 種である。三角形の格子構造の場合は p m に相当する。

(表 1)

(回転対称性を含まない 2 次元文様の分類)

I U C 記号	判定条件	可能な格子構造
p 1	鏡映、すべり鏡映を含まない。	斜交格子、直交格子、面心格子、正方格子、六方格子
p m	鏡映を含む。 すべり鏡映軸は必ず鏡映軸でもある。	直交格子、正方格子
p g	鏡映を含まない。 すべり鏡映を含む。	直交格子、正方格子
c m	鏡映を含む。 鏡映軸ではないすべり鏡映軸が存在する。	面心格子、正方格子、六方格子

鏡映とは、第 14 A 図に示すように、鏡映軸に対して線対称な文様をいう。すべり鏡映とは、第 14 B 図に示すように、鏡映文様がすべり鏡映軸に対して平行移動した場合をいう。

次に、格子点形状として考えられる種々の形状を第 15 図～第 24 図に文様の種類 (p 1、p m、p g、c m のいずれか) と共に示す。なお、各第 15 図～第 21 図においては格子点形状の角部が 90° ないしそれ以下の角度に描かれているが、実際に加工された周期構造体にあっては、それらの角部は丸みを有している。

並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない格子構造は、一つ一つの格子点形状を変えなくても、第22図又は第23図に示すように、真円形状の格子点21に小さな円形状21'を付加することにより実現できる。また、小円形状の付加の仕方も、数周期に1回でよい。要するに、個々の格子点形状のみならず、格子構造の全体として、有限サイズの基本格子が定義でき、それが正方格子又は直交格子として繰り返される文様であればよい。

また、第24図に示すように、格子点形状自体は真円であっても、格子点に第3の屈折率 n_3 の媒質を設けることで、 p_m の文様に相当する格子構造を実現できる。第1媒質に空孔を形成した後、該空孔に屈折率 n_2 、 n_3 の媒質を充填すればよい。あるいは、屈折率 n_2 の媒質を空気とすれば、屈折率 n_3 の媒質を半円形状に充填すればよい。また、格子点は屈折率の異なる2種以上の屈折率分布を持つ媒質によって充填されていてもよい。

(他の実施形態)

なお、本発明に係る2次元フォトリック結晶面発光レーザは前記実施形態に限定するものではなく、その要旨の範囲内で種々に変更することができる。

特に、半導体層、フォトリック結晶、電極の材料や、光の偏光を揃えるための構造等は任意である。また、フォトリック結晶周期構造体は、下部クラッド層以外に、上部クラッド層内の活性層近傍もしくは活性層内に設けてもよい。

また、第1媒質と第2媒質の屈折率の関係は、前記実施形態においては第2媒質の屈折率が第1媒質の屈折率よりも低いものとして説明したが、逆の関係であってもよい。

請 求 の 範 囲

1. キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、

前記フォトリック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えていないフォトリック結晶を内蔵していること、

を特徴とする2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

2. キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、

前記フォトリック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、2次元文様のIUC (International Union of Crystallography in 1952) の分類方法でp1、pm、pg又はcmのいずれかであるフォトリック結晶を内蔵していること、

を特徴とする2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

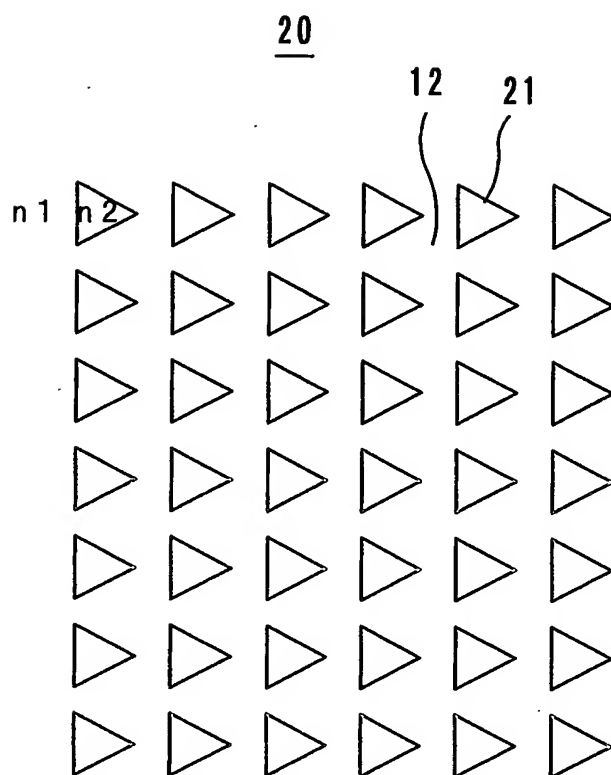
3. 前記フォトリック結晶の格子点の形状がほぼ三角形であることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

4. 前記フォトリック結晶の格子点の形状が、比較的大きなほぼ円形状と比較的小さなほぼ円形状の組み合わせからなることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の2次元フォトリック結

晶面発光レーザ。

5. 前記フォトリック結晶の格子点が、屈折率の異なる2種類以上の媒質若しくは屈折率分布を持つ媒質によって構成されていることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の2次元結晶面発光レーザ。

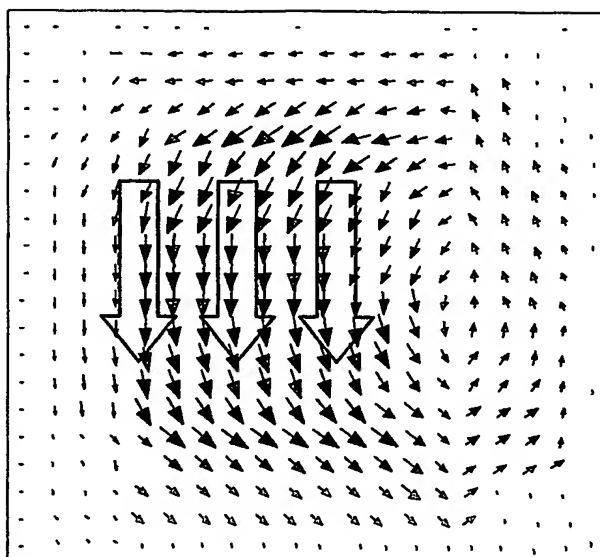
第 1 図



2/22

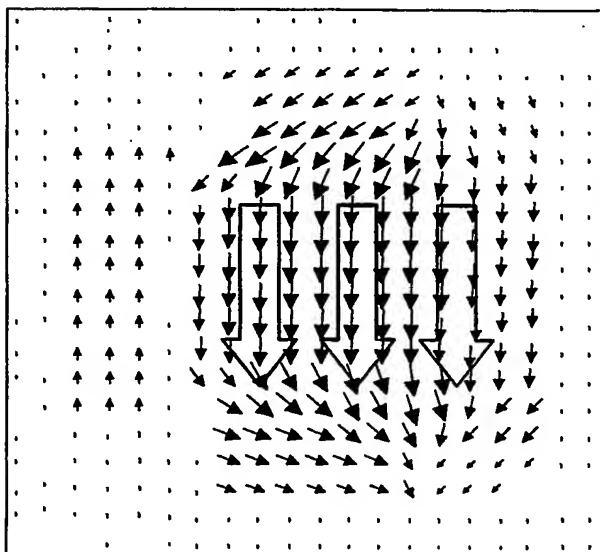
第 2 図

モードⅠ”



第 3 図

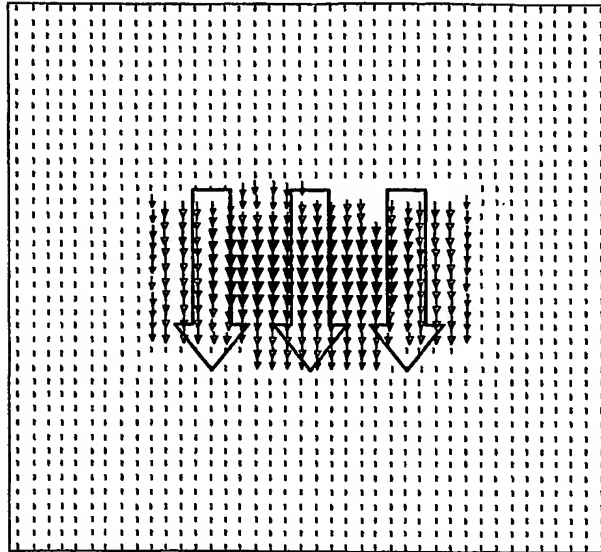
モードⅡ”



3/22

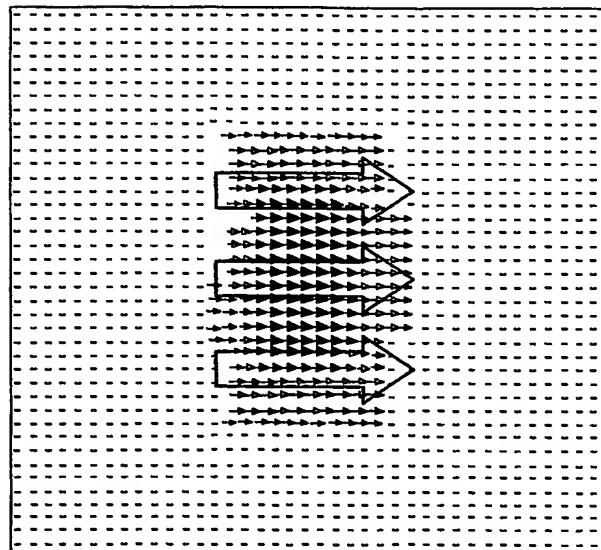
第 4 図

モードⅢ”



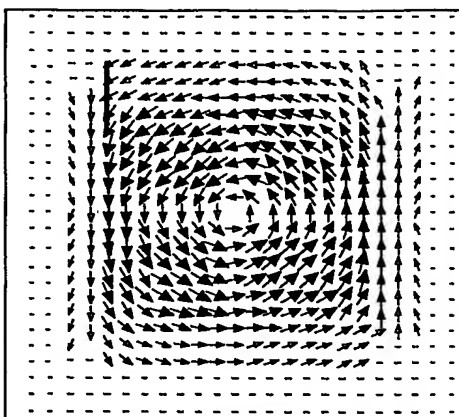
第 5 図

モードⅣ”

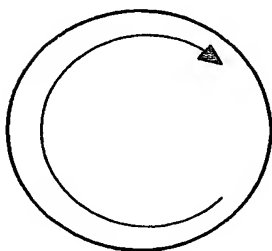


第 6 C 図

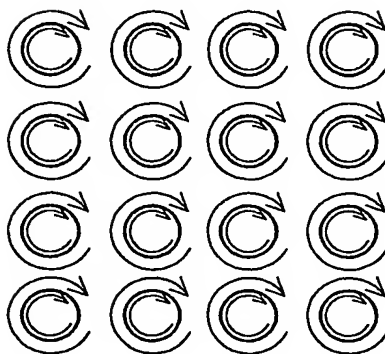
モード I



第 6 B 図

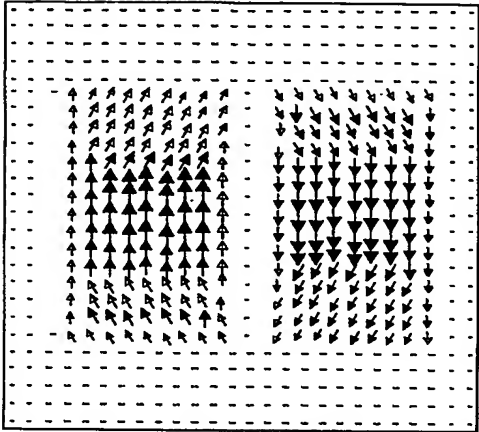


第 6 A 図

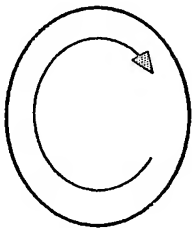


第 7 C 図

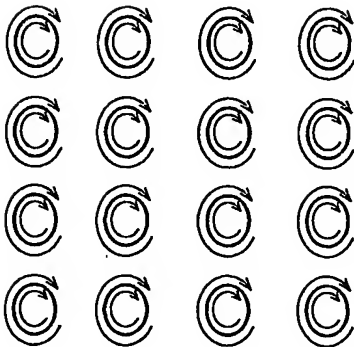
モード I'



第 7 B 図



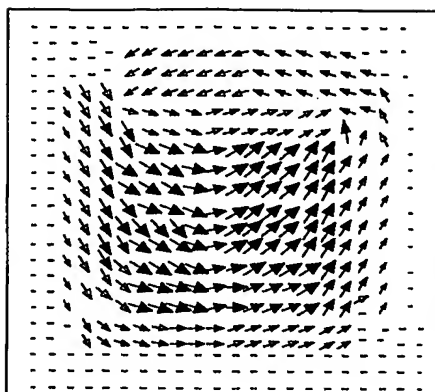
第 7 A 図



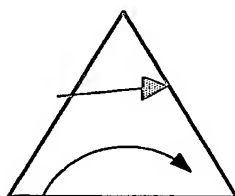
6/22

第 8 C 図

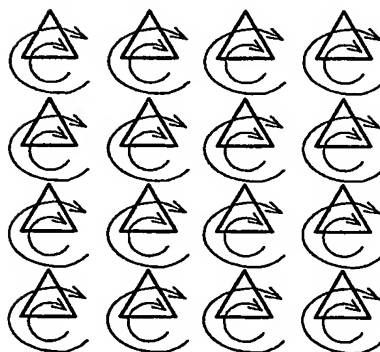
モード I"



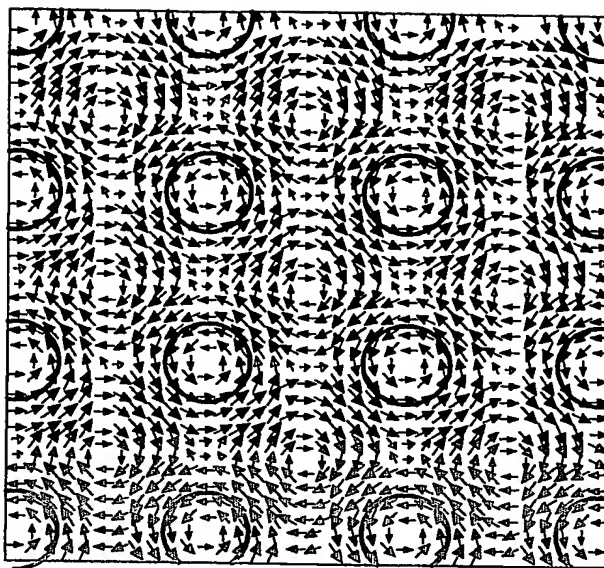
第 8 B 図



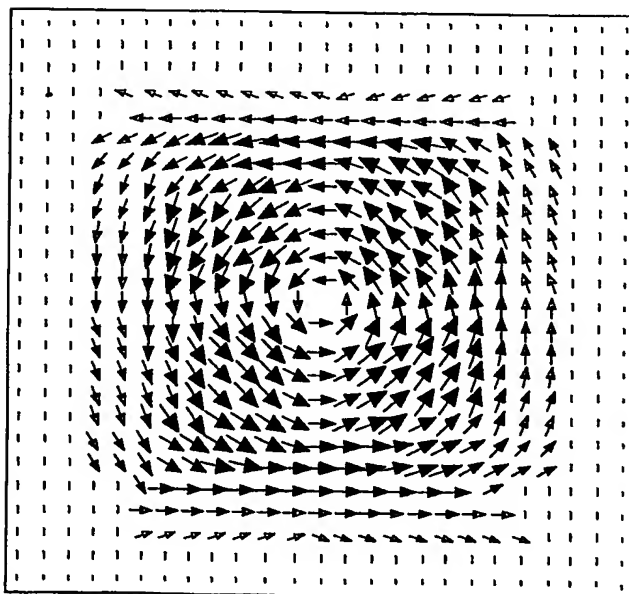
第 8 A 図



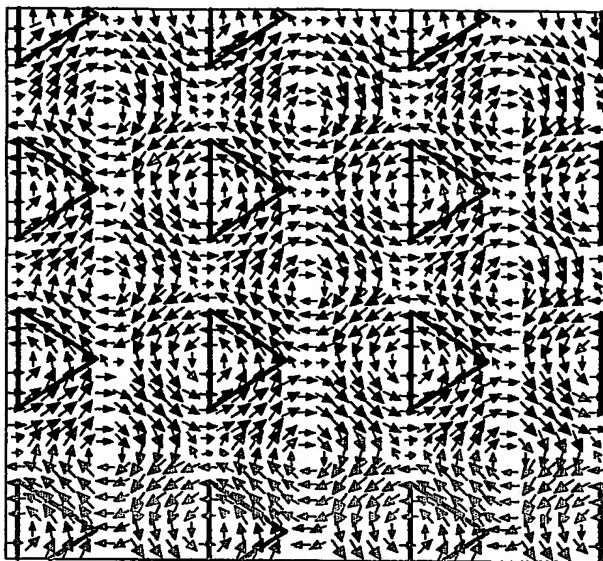
第 9 A 図



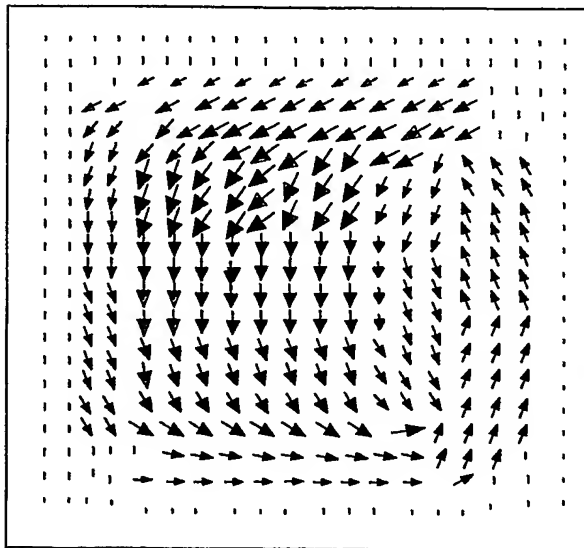
第 9 B 図



第 1 0 A 図



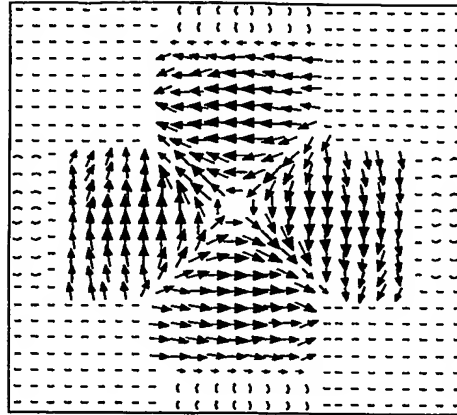
第 1 0 B 図



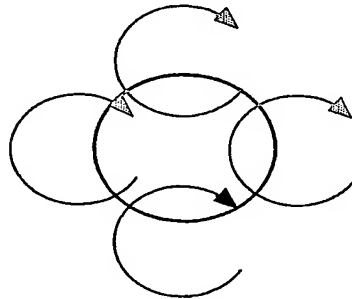
9/22

第11C図

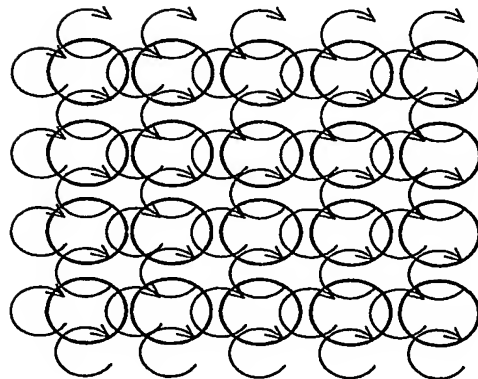
モードII



第11B図

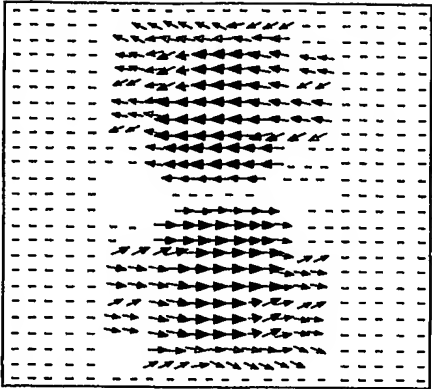


第11A図

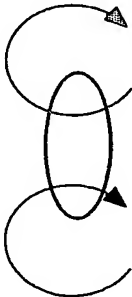


第 1 2 C 図

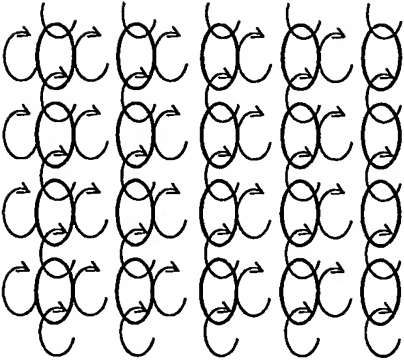
モードⅡ'



第 1 2 B 図



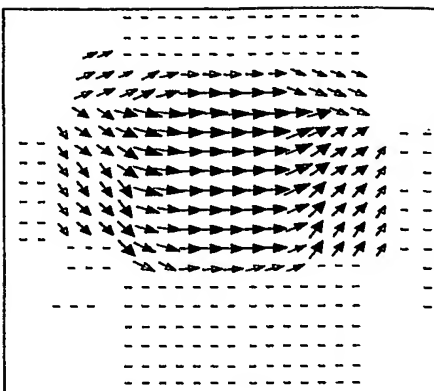
第 1 2 A 図



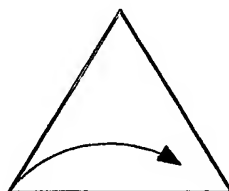
11/22

第 1 3 C 図

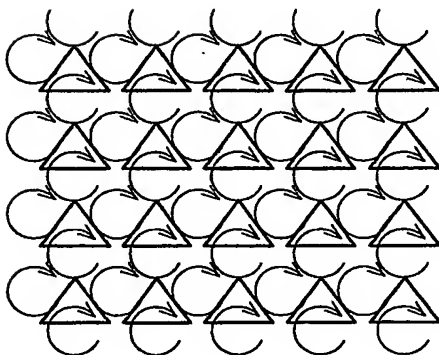
モードⅡ”



第 1 3 B 図

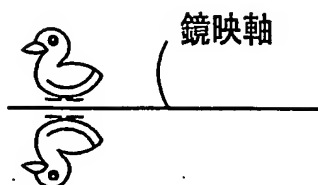


第 1 3 A 図

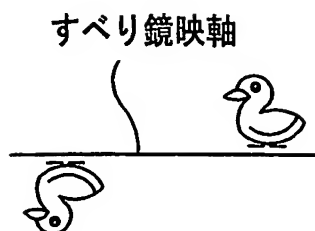


12/22

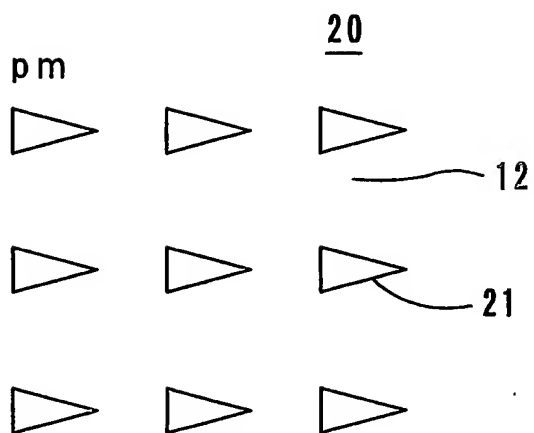
第 1 4 A 図



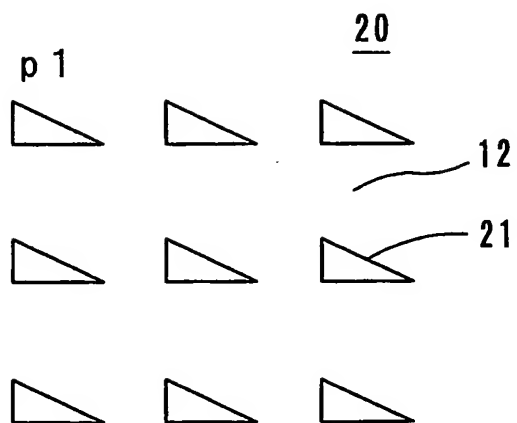
第 1 4 B 図



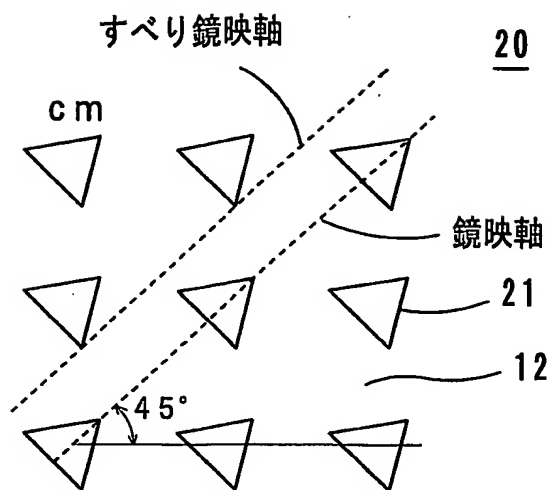
第 1 5 図



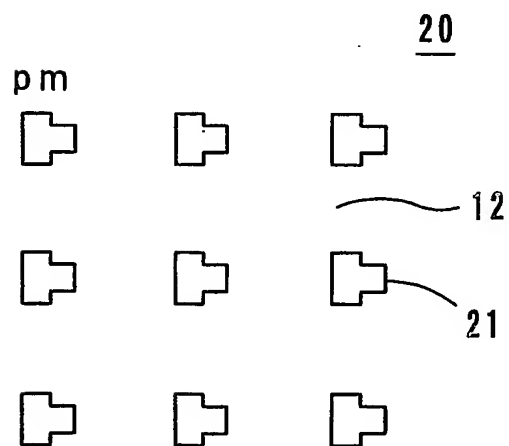
第 1 6 図



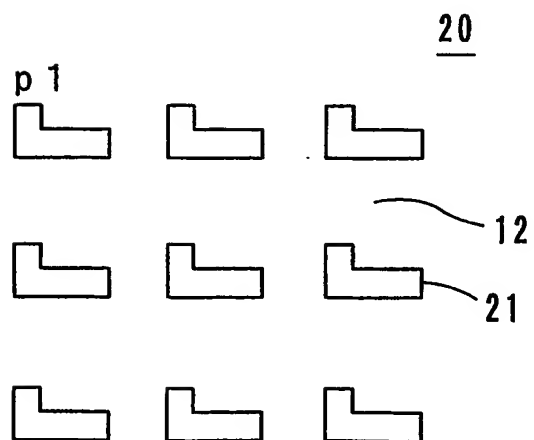
第 1 7 図



第 1 8 図

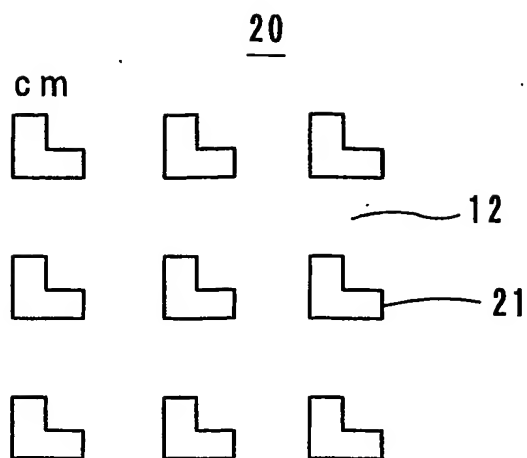


第 1 9 図

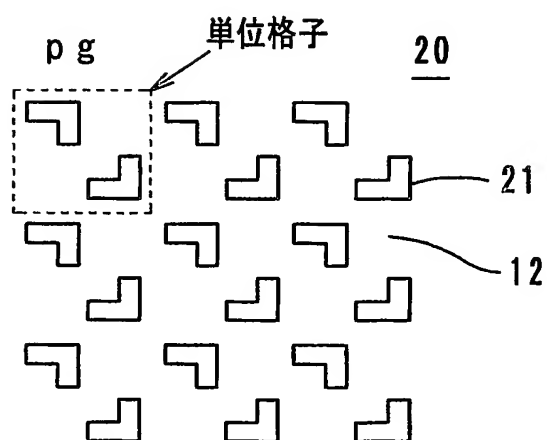


14/22

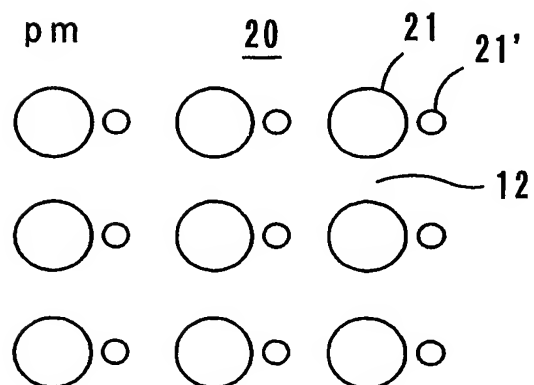
第 2 0 図



第 2 1 図

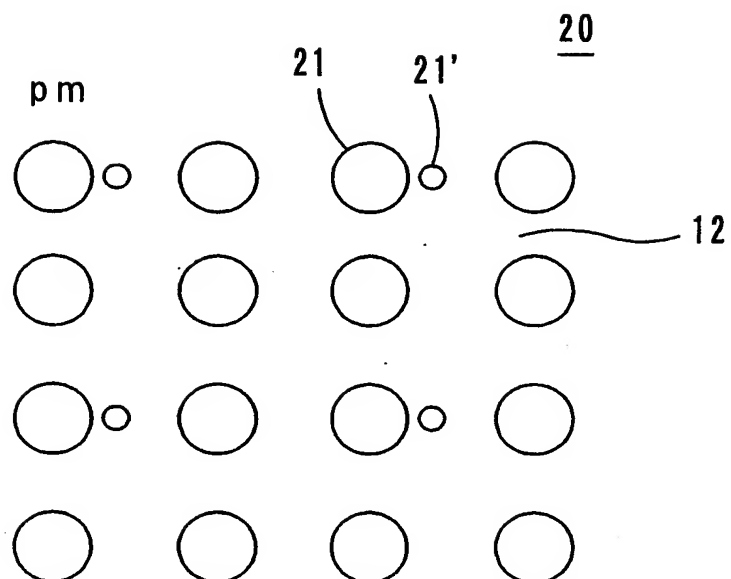


第 2 2 図

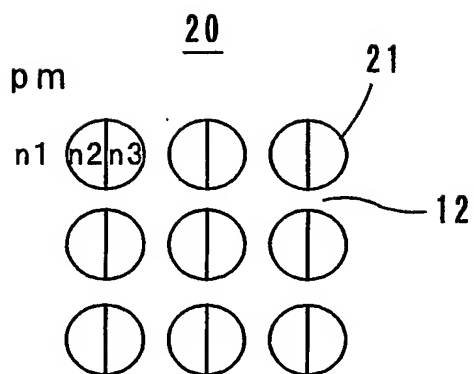


15/22

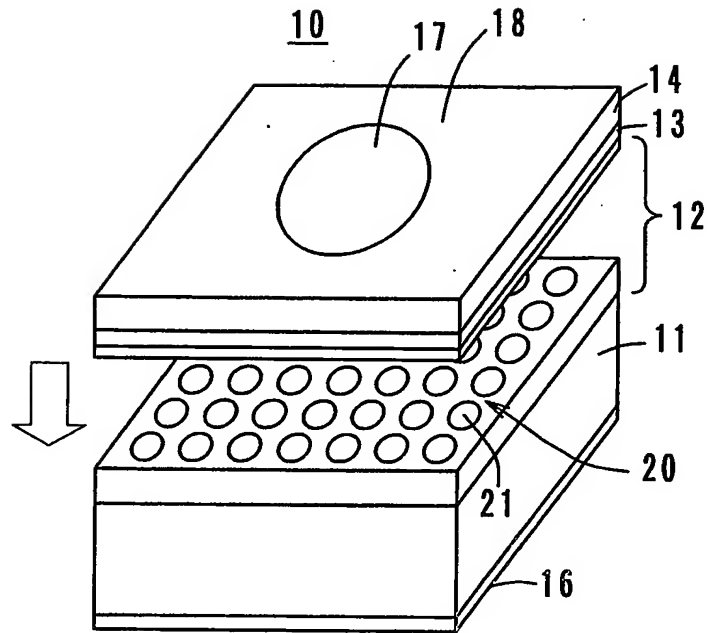
第 2 3 図



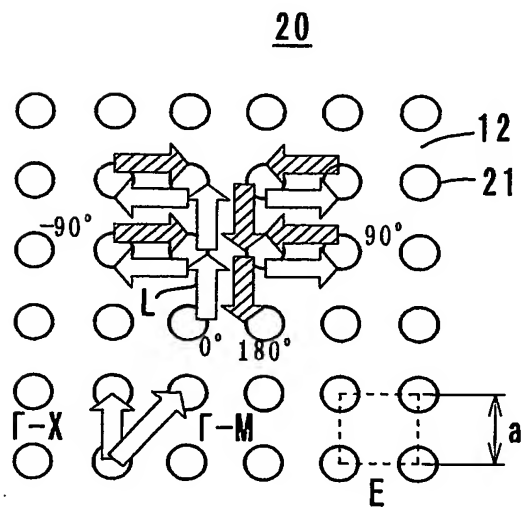
第 2 4 図



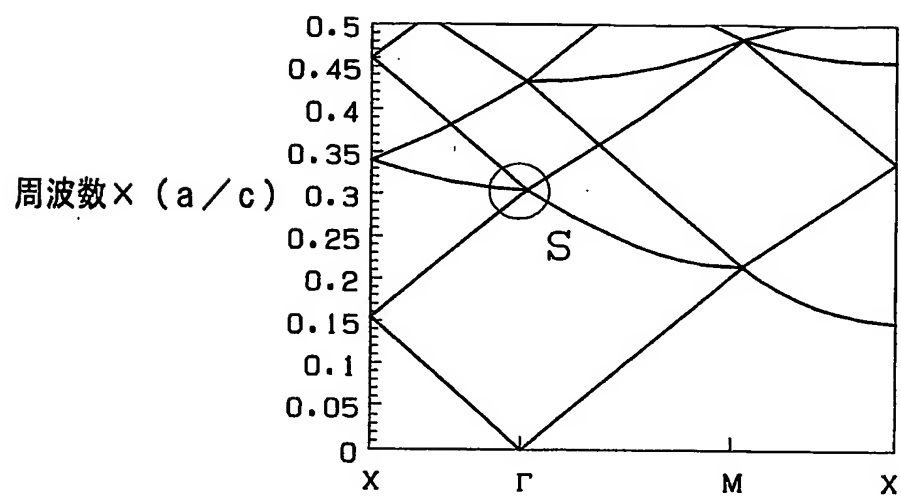
第 2 5 図



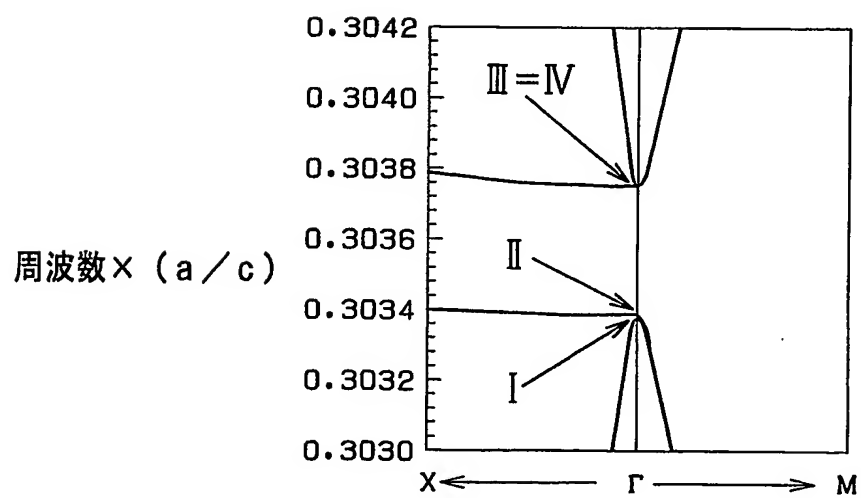
第 2 6 図



第 27 図



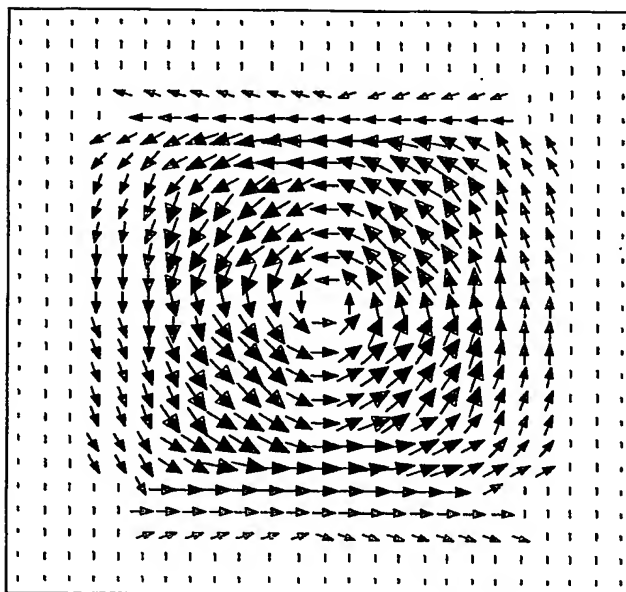
第 28 図



18/22

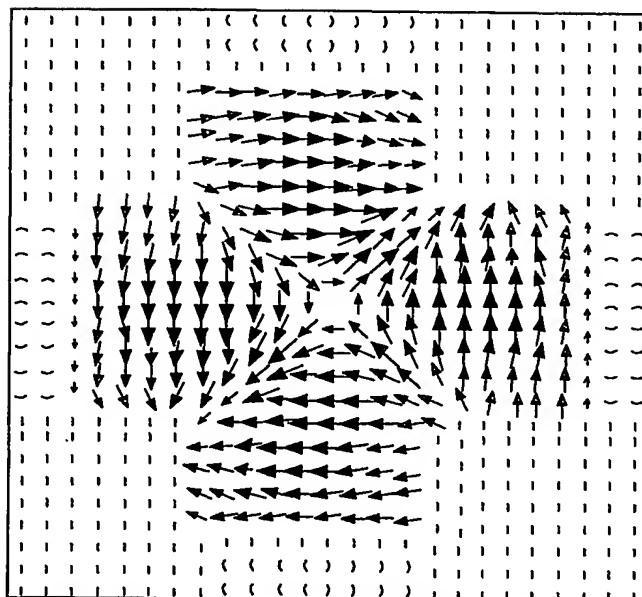
第 2 9 図

モード I

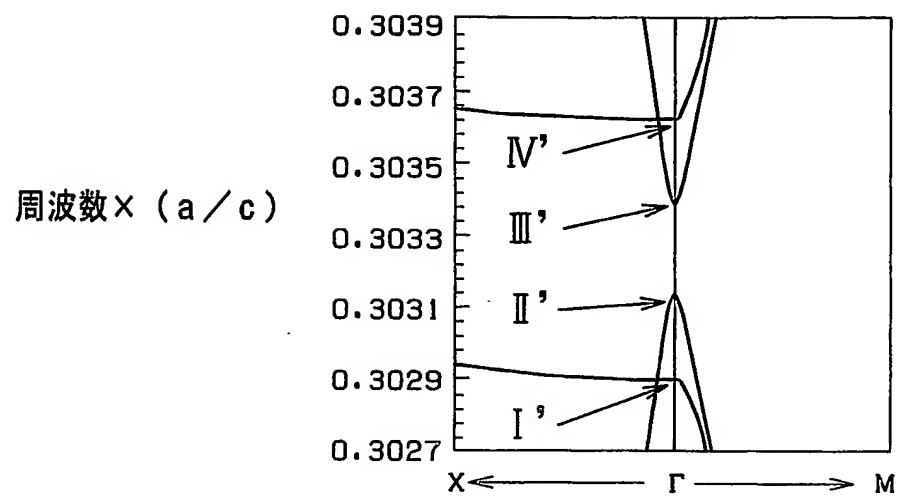


第 3 0 図

モード II

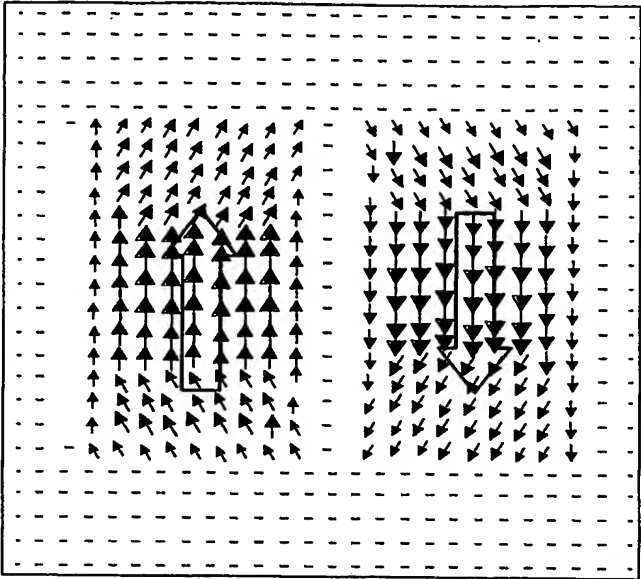


第 3 1 図

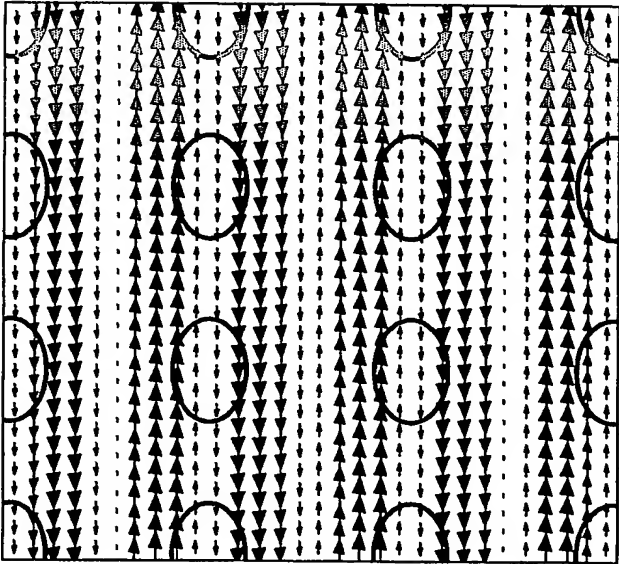


第 3 2 A 図

モード I'

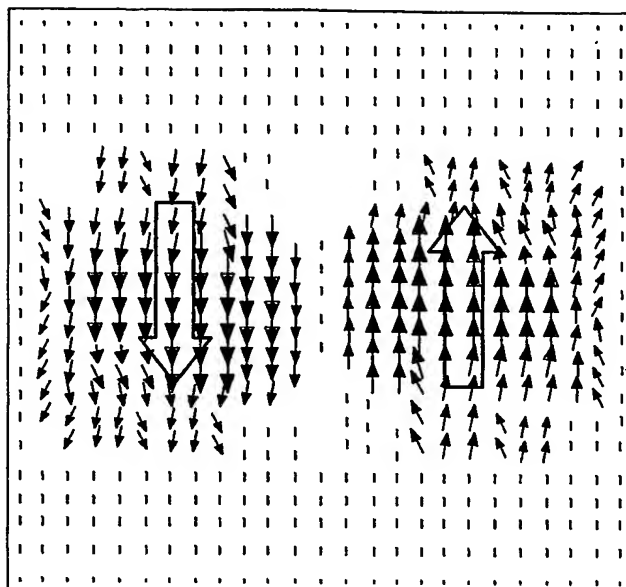


第 3 2 B 図



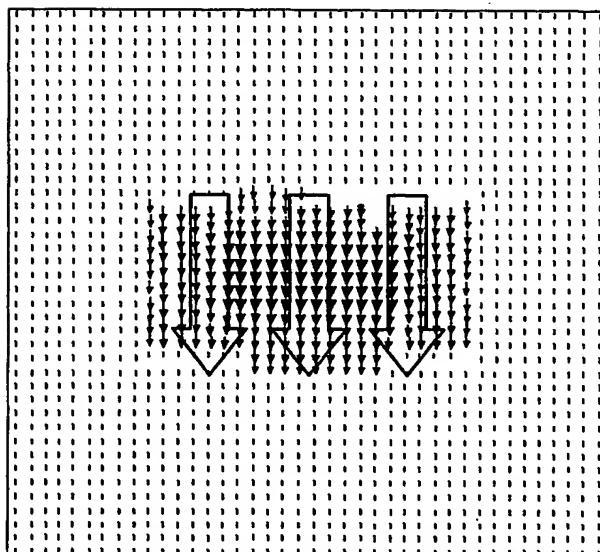
第 3 3 図

モードⅡ'



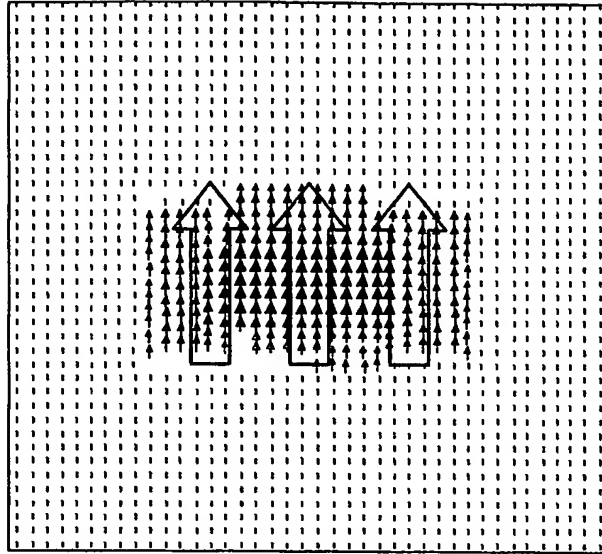
第 3 4 図

モードⅢ'

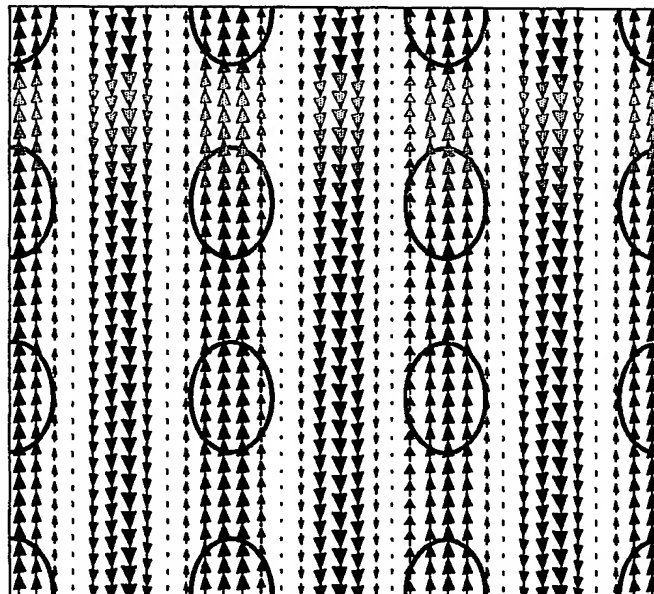


第 3 5 A 図

モードⅣ'



第 3 5 B 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S5/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01S5/18Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-23193 A (Japan Science and Technology Corp.), 24 January, 2003 (24.01.03), Full text; all drawings & WO 03/005513 A1 & EP 1411603 A1 & CA 2451565 A1	1-5
A	JP 2000-332351 A (Japan Science and Technology Corp.), 30 November, 2000 (30.11.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-5
A	O.Painter et. al., Science, 1999, Vol.284, No.5421, pages 1819 to 1821	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 May, 2004 (25.05.04)Date of mailing of the international search report
08 June, 2004 (08.06.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003987

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	S. Noda et al., Science, 2001, Vol.293, No.5532, pages 1123 to 1125	1-5
P,X	Hikaru YOKOYAMA, Susumu NODA, "Dai 64 Kai Extended abstracts; the Japan Society of Applied Physics Gakujutsu Koenkai Koen Yokoshu", 2003, Dai 3 Bunsatsu, page 935, 31p-2M-8	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S 5/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01S 5/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-23193 A(科学技術振興事業団)2003. 01. 24 全文, 全図 & WO 03/005513 A1 & EP 1411603 A1 & CA 2451565 A1	1-5
A	JP 2000-332351 A(科学技術振興事業団)2000. 11. 30 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	O. Painter Et. Al., Science, 1999, Vol. 284, No. 5421, p. 1819-1821	1-5
A	S. Noda Et. Al., Science, 2001, Vol. 293, No. 5532, p. 1123-1125	1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 05. 2004

国際調査報告の発送日

08. 6. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

道祖土 新吾

2 K

9814

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X	横山光, 野田進, 第64回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 2003, 第3分冊, p. 935, 31p-ZM-8	1-5